

应用科学与应用科学革命

阎康年

(中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100010)

摘要 人们常说的“科学革命”, 实际上指的是“基础科学革命”; 应用科学对于科学、应用科学革命对于科学革命像是个婢女, 处于从属的、被掩盖的和被漠视的地位; 这实际上为近现代科学革命与技术革命和产业革命的脱节, 以及为基础科学的大部分成果很难或几乎不可能转化为生产力, 埋下了隐患。近现代科学、技术发展的重要成就排列表明, 历次应用科学革命之后实际上都发生过应用科学的革命性发展, 因而导致历次技术革命的发端, 只是由于“婢女”被漠视, 才使人感到科学与技术、科学革命与技术革命之间的关系好像断了线。文章根据搜集到的大量历史事实, 加以排列, 认为不论从历史事实还是科技成果转化的逻辑关系考虑, 都应该将这个空缺补上。为此, 提出了应用科学革命与基础科学革命的区别、应用科学革命的必要性、应用科学革命的范式结构和历史分期。从这个观点出发, 可以看到: 过去所谓的“科学革命”实际上是基础科学的发展和变革的产物; 世界科学中心在国家间的转移经常是由应用科学的发展和变革引起的; 所谓“大国崛起”不过是产业革命发展的阶段性变革的产物。

关键词 基础科学革命 应用科学革命 应用科学革命的范式 分期

中图分类号 N091:NO

文献标识码 A **文章编号** 1000-0224 (2007) 03-0425-13

1 为什么将科学革命分为基础科学革命和应用科学革命?

1.1 基础科学革命定义与应用科学革命定义不同

(1) 基础科学革命: 基础科学是人类认识自然及其变化规律的系统知识。当这种系统的知识体系发生了社会性的根本变革, 就称为基础科学革命^[1]。

按照基础科学的定义, 本文提出的基础科学革命就是过去所说的科学革命, 其定义为人类认识自然及其发展规律的系统的知识的社会性根本变革。

(2) 应用科学革命: 应用科学是人类在将基础研究得出的科学概念、知识和理论用来

收稿日期: 2007-02-23

作者简介: 阎康年, 1933年生, 山东蓬莱人, 中国科学院自然科学史研究所研究员, 从事近现代世界科技史研究。

基金项目: 中国科学院创新文化课题组基金; 中国科学院自然科学史研究所课题资助项目

分析、处理或解决具体的技术和产品的设计、制造、操作或控制过程中形成的系统知识,以及由生产实践或操作的经验归纳和提炼成系统的知识和原理。当这种系统的知识发生了社会性的根本变革,就称为应用科学革命。

应用科学与基础科学的定义,应用科学革命与基础科学革命的定义,都存在实质性的区别,并且它们研究的出发点和目的都有原则性的区别,应该而且有必要加以区分。

1.2 两种科学革命的对象、性质和范式不同

(1)对象和性质

基础科学革命的对象是传统的科学观念、信仰和认识自然的知识体系。因此科学革命的性质属于认识论的文化和哲理范畴,主要是观念的和认识自然的知识体系的变革。

应用科学革命的对象是怎样将基础科学知识用于解决技术、产品设计和生产中的问题,以及怎样将操作和实践中积累的经验和知识提炼成理论和知识体系。因此,属于方法论的和应用科学知识于技术和生产实践的知识体系的变革。

(2)范式

基础科学革命的范式,按照“范式”概念的提出者库恩(Thomas Kuhn)的说法,是世界观、信仰、观念和共同体的意见等的变革([2], 111页)。笔者认为,基础科学革命的范式应该是基础科学的主要组成要素和某个基础科学革命时期的标志性理论体系的集合,而基础科学的主要组成要素包括物质组成、时空观、基本概念、运动规律、相互作用、方法论等。

应用科学革命的范式是应用科学的主要组成要素和某个应用科学革命时期标志性理论的集合,这些要素有基础科学中可用于技术创新的系统知识、概念和理论,如应用力学、主要的应用学科(热学、磁学、电学、半导体、超导体、信息学、光电子学、网络学、信息论、控制论、系统论和分子生物工程)等。

按照库恩的科学革命定义“常规的科学范式的变革”([2], 92页),基础科学革命和应用科学革命自然有着原则性的区别。

1.3 两种科学革命的历史使命不同

(1)近代基础科学的历史使命是变革中世纪的自然科学观念、理论体系和科学方法。如近代科学革命是用实验科学变革神创论和迷信,用实验取代先验论,用公理化体系的推理变革主观臆断和哲学思辨,将自然科学从神创论和宗教的羁绊下解放出来,将自然科学从自然哲学中分离出来,而成为独立的学科。但是近代的应用科学却是将牛顿力学、热力学、电磁理论的原理应用于解决水动力的、蒸汽动力的和电动力的技术和驱动机器生产问题,其典型的学科有各种应用力学、热学、电学、磁学和材料科学等,以及由生产实践总结出来的机械工程、化学工程和生物工程等。

(2)现代基础科学的历史使命是变革近代的自然科学观念、理论体系和科学方法。如现代科学革命用科学实验发现变革了经典原子论的原子不可分和不可变的物质观、用相对时空观变革绝对时空观、用不确定论变革微观物质运动的确定论和因果论。现代应用科学则用核物理的核裂变与聚变发现了新的核能源,将量子力学原理用于固体、低温体和生命体的大分子结构,建立了半导体、超导体、合成化学工程和分子生物工程等应用学科,以及将布尔代数用于二进位的数字信息技术,建立了信息论和控制论等。

1.4 两种科学革命的标志性理论体系不同

(1)近代基础科学革命的标志性理论体系是牛顿力学体系,19世纪中叶的电磁理论、能量转化守恒原理、生物进化论、细胞理论等不过是近代科学革命在19世纪的新发展。而近代应用科学的标志性理论体系则是应用力学体系,这个体系包括了各种弹性体力学和塑性力学、流体力学、热力学,以及电磁学和热学等学科。

(2)现代基础科学革命的标志性理论体系,在今天只可概括为微观物质组成理论、相对论、量子力学和分子生物学,至今尚未形成统一的标志性的基础科学理论系统。现代应用科学的标志性理论体系主要是信息科学和网络理论,但是有待形成包括纳米科学、核能源学、合成化学、分子生物工程等统一的理论体系。

1.5 基础科学革命不能包容和替代应用科学革命

过去应用科学革命被人为地用基础科学革命予以掩盖和“包容”,而其实质却是将应用科学革命摆到很次要的地位,甚至予以忽略不计。也就是说,每说起“科学革命”,指的都是人对自然及其变化规律的认识的系统知识发生社会性的根本变革,根据这个公认的定义它实际上仅仅指的是基础科学的革命,而不包括应用科学革命。这主要表现在:

(1)近代科学革命:指的是从哥白尼(Nicolaus Copernicus)提出日心说到牛顿(Isaac Newton)发表《自然哲学的数学原理》这134年的科学变革,并未涉及应用科学。至于巴特费尔德(H. Butterfield)的《近代科学的起源》、库恩的《科学革命结构》、科恩(I. Bernard Cohen)的《科学革命》和布拉什(Stephen Brush)的《1905年的科学革命》等4本关于科学革命的论著,谈论的内容全部都是关于物理、天文、化学和生物学等基础科学的发展和变革,都未涉及应用科学的变革问题^[2-5]。因此可以说:过去所谓的科学革命,都指基础科学革命而言。它包含不了各种力学、热学、电学、磁学等应用科学。

(2)现代科学革命:几乎所有的著名科学家和科学史学家在谈到现代物理革命、生物革命和科学革命时,都指的是19世纪末之后原子内的微观物质组成、相对论、量子论、量子力学和分子生物学方面的重大成就,而都忽视或回避了应用科学方面的成就或变革,例如,半导体物理及其导致的晶体管、集成电路和芯片的发明,布尔代数引起的信息论、信息数字化和网络通信,分子生物学导致的分子生物工程、基因修复和生物制药等应用学科的出现。

1.6 历次近现代基础科学革命之后实际上都出现过应用科学革命

17世纪中叶,伽利略(Galileo Galilei)在他的名著《关于两种新科学的对话》中的第一个对话,就是试图建立弹性体力学学科。他对真空和大气压的关注,促使他的弟子托里拆利(Evangelista Torricelli)制成气压计和虹吸管,发现了真空和大气压力。格里克(Otto von Guericke)在1653—1654年间发明了空气泵,并在1654年做了马德堡半球实验,全面证明真空和大气压力的存在,导致惠更斯(Christian Huygens)和帕本(Denis Papin)在1674年改进空气泵和在1690年研究燃气气缸,同年帕本试验蒸汽气缸基本成功,对于后来纽科门(Thomas Newcomen)和瓦特(James Watt)分别发明单作用式和双作用式蒸汽机,以及所有蒸汽机和内燃机的发明和发展,起了先驱性的和关键的作用。在1773—1783年间,库仑(Charles A. de Coulomb)在建筑材料强度理论和扭转理论、摩擦力理论和静电荷、磁荷与其间静电力和磁力的定量关系(即著名的库仑定律)的原创性发现,加快了近代应用

科学领域的发展。为了适应军事武器、建筑、桥梁和机械的迅速发展,应用力学(材料力学、弹性力学、结构力学、塑性力学)有了很大发展,世界科学中心由英国转向法国^[6 7]主要是由于法国在力学等应用科学上的大发展。在法国,应用科学反过来又促进了数学和理论力学的进一步发展。这次应用科学革命竟能够促成世界科学中心在国家之间转移,由此可见,其作用甚大。几乎同时,电学、磁学、热学的实验和理论作为当时的应用科学发展很快,然后才出现电动力学、电磁理论和热力学,这就是库恩说的培根科学的数学化或“第二次科学革命”([8], 215页)。

在现代科学革命中,量子力学与微电子技术、核物理与核能技术、分子生物学与生物制药、高分子化学与塑料合成技术和纳米技术,都必须分别通过有关的应用学科,如半导体物理、原子能反应堆、可控核聚变、分子生物工程、合成化工等,才能转变成高技术和生产力。

1.7 应用科学革命起着基础科学革命与技术革命和产业革命之间的桥梁和协变的纽带作用

基础科学研究的出发点是认识自然及其发展规律,而不是去改造自然以为人类服务,因而与应用科学以改造自然而提高人类生活质量的目有根本的区别。基础科学要回答的是“是什么样的”(What is it),技术回答的是“如何做”(How to do),而应用科学要回答的却是“用什么知识去做”(Which knowledge may be used to do),生产回答的是“做什么”(What will be done)。所以基础科学并不考虑也不研究怎样应用的问题,但是应用科学却能用于技术和产品的发明和创新,因而应用科学革命成为基础科学革命与技术革命沟通的桥梁,并与它们形成了相互协变的关系。同理,从事基础科学革命的人事先并不考虑基础科学知识怎样解决技术和生产问题,甚至在历次技术革命和产业革命过程中基础科学工作者往往与产业革命是脱离的,基础科学革命与技术革命和产业革命实际上也是脱节的,并没有直接的关系。正像库恩所说:“直至19世纪末,重要的技术创新从来没有来自对科学有贡献的人、机构或社团……有效的技术改革者主要是手工匠、工头和灵巧的设计者,这些人往往与他们的科学同代人发生尖锐的冲突,对发明者的轻视在科学文献中反复出现,自命不凡的、抽象的和胡思乱想的科学家的敌视是技术文献中的一个持久的话题”([8], 142页)。

1.8 近代和现代科学发展中都确实出现过应用科学革命,只是由于种种原因长期以来被基础科学革命的提法掩盖和漠视了

在1687年牛顿发表《自然哲学的数学原理》而结束近代基础科学革命之后,近代应用科学从格里克发明空气泵,到1712年纽科门发明单作用式蒸汽机,1773—1787年库仑在弹性体力学、扭转试验、摩擦理论和静电力、磁力的库仑定律研究上作出开创性的重要贡献,直到1831年法拉第(Michael Faraday)发现电磁感应时,这是力学、热学、电学和磁学的形成时期,即近代应用科学革命。法国正是由于掀起了这次应用科学革命才取代英国成为世界科学中心。正是由于在欧美出现了应用科学革命,催生了蒸汽动力技术革命和电力技术革命。

现代基础科学革命从1895年开始后,经过35年的现代物理革命的蓬勃发展,导致固体物理的能带理论、p-n结理论和半导体物理、信息论、网络理论产生,核物理导致核能科

学, 高分子化学导致合成化学工程, 分子生物学导致分子生物工程的产生, 而形成了现代应用科学革命, 才进而诱发了现代信息技术革命的出现。

今天恐怕很少会有人再反对近代应用科学和现代应用科学的革命性发展的提法, 因为它是基础科学革命所无法替代和包容的。

通过以上的分析和论证, 可以看出: 基础科学革命与应用科学革命有着实质性的明显差异, 并且不论近代的还是现代的应用科学革命所起的作用, 都是基础科学革命所无法包容和替代的。这种认识将在未来的科技发展中表现得更加明显, 因而应该将两者分开。

2 应用科学革命在历史上出现的必要性

2.1 科技成果转化机制说明, 基础科学和基础科学革命不分别通过应用科学和应用科学革命, 很难或几乎不可能直接转化为生产力, 并继而再转化为产业

其原因在于:

(1) 牛顿力学只有应用到力学、热学、电学和磁学, 并且与科学实验结合之后, 才打开了通向近代技术的大门, 并迎来了产业的大发展。量子力学也只有通过固体物理和半导体物理, 才能导致微电子技术的发明。试想, 在基础科学成就上最具有代表性的万有引力定律和相对论, 到今天又有多少能转化成技术和产业呢? 这些案例说明应用科学在科技知识转化成生产力上有着不可或缺的重要意义!

(2) “科学技术是生产力”、“科学技术是第一生产力”在我国已经谈论了近 20 多年, 但是不少人对于基础科学就是生产力存在疑虑, 认为他们只能转化而不就是生产力, 例如近现代科学革命的主要理论万有引力定律、相对论、量子力学等几乎无法直接转化为生产力。应用科学革命的提出有利于这个悬念的解决, 并且对于认识和促进应用科学发展, 以及加快自主知识产权和核心技术的创新有着特殊重要作用。

(3) 原子物理与激光的发明之间存在微波激振的探索; 核物理与原子能大规模释放之间, 存在铀核裂变、慢中子核嬗变和铀核链式反应等领域的研究; 核物理与热核反应之间存在重氢核的聚变、可控热核聚变等大量重要工作; 后者都属于应用科学, 没有后几种学科的发展, 前者不可能转化为高技术。

(4) 在量子力学之后, 由于出现了固体物理的能带理论、 $p-n$ 结、材料提纯、掺杂、印刷电路和光刻等大量工艺问题, 才导致半导体、晶体管、集成电路、超导体、激光和光电子等学科的产生。分子生物学之后, 如果没有作为应用科学的分子生物工程的产生, 就不会进行生物科技的研发(例如试管婴儿、克隆、胚胎干细胞……), 以及生物制药业的出现。这些都是通过一系列新应用科学的作用才出现的。

基础科学、应用科学、技术和产业之间的上述协变关系说明, 对于整个社会来说, 基础科学革命只有通过应用科学革命才能导致技术革命和产业革命, 因而才能形成这 4 种革命之间的合乎逻辑的协变关系。

2.2 无视应用科学革命是历来基础科学革命与技术革命和产业革命不协变和脱节, 并与生产力缺乏直接关系的重要原因

基础科学革命的作用有两个方面, 一方面是创新知识和文化而提供精神财富, 另一方

面是为应用科学革命创造了条件,继而使技术革命和产业革命合乎逻辑地产生,从而使基础科学知识间接地转化为社会生产力。忽视和无视应用科学是至今理论与实践脱节和基础科学不能大规模地直接转化为生产力的关键要素。

18世纪后叶,英国的产业革命出现之后甚至在它的晚期或结束之时,在英国皇家学会内部发生过激烈的争论和斗争,争论的关键是科学要不要与生产和技术结合、要不要发展应用科学^[9-11]?历史已经明确地给出了回答,不过这个回答是由法国在18世纪晚期到19世纪上半叶首先给出的。至于19和20世纪的应用科学是否重要,在1860年代德国兴起的企业研究实验室和几十年后美国的R&D的大发展并取得成功的历史经历^[12-13],给出了明确的和肯定的答案。

2.3 应用科学革命是技术革命和产业革命的先导、基础和创新的灵魂

基础科学中的大部分知识和原理很难或有的几乎不可能转化为生产力,例如万有引力定律和相对论就是如此。能转化的,也只有通过应用科学,如近代的牛顿力学中只有流体力学原理才导致水力学和下冲式、上冲式水轮机的发明,而他的力学三定律只是通过热学和应用力学,才导致蒸汽动力技术、内燃动力技术以及电动力技术的发明和发展,才引起了机器生产为中心的工业革命和电气化大生产。在现代科技发展中,原子物理和核物理只有通过慢中子铀核裂变、链式反应、原子能大规模释放,才成为可利用的核能源;相对论很难或几乎不可能直接转化为技术和生产力;量子力学也只有通过固体物理的能带理论才能产生p-n结、半导体、晶体管、集成电路和芯片,亦只有通过微波激振的研究才能导致激光的发明;分子生物学知识只有通过分子生物工程才能转化为生物制药。

历史的经验证明,在高技术时代,应用科学是自主知识产权和核心技术创新的灵魂;现代应用科学革命是信息技术革命和自动化产业革命的必要前提。

2.4 国家的富强关键在于应用科学革命发展的程度和强度

英国产业革命得利于技师和工匠。科学中心转移到法国是由于应用科学的大发展。德国主要由于企业和大学的科技研发,以及实验与理论紧密结合,才导致科学兴起和产业的大发展。美国从1875年到二战结束,日本从明治维新至今,国家富强和科技强国主要靠科学实验和企业的研发机构,反过来才推动基础科学的升华。美国、日本和德国的经济支柱——钢铁、石油、汽车制造、通信、计算机、网络和生物制药等大中型公司,百多年来几乎没有一个不是由于重视应用科学与技术创新结合,以及研发机构的高效运转,才有它们今天的富强。以应用科学研究和技术创新为中心的应用研究,是企业大发展的原动力和现代国家经济发展和富强的核心。历史的经验越来越雄辩地证明,应用科学对技术和产业迅速发展起着决定性作用,这是基础科学所无法实现的。同理,现代应用科学革命也是现代基础科学革命所无法取代的。

在二战最危机的1941年,美国总统罗斯福(F. D. Roosevelt)对一个联邦委员会呈交的《研究——国家的资源·第二部分工业研究》作了这样的批示,并转交国会:“这份报告呈现出我们怎样将昔日美国人的发明智慧转变成研究的才能。我们的科学家已经揭示和解释了自然的奥秘,将它们用于工业,并因之提高了我们的生活标准、加强了国防和丰富了国家生活……我向国会推荐这份值得仔细阅读的报告。”(引自: *Bell Laboratories Record*, Vol 16 September 1940 to August 1941)

2.5 目前我国科技和经济发展的关键是自主科技和核心技术创新之匮乏, 提出应用科学的重要性和应用科学革命问题, 有助于我国决策机构和大中型企业下定决心, 从引进型转变到真正依靠科技研发的轨道上来

我国自主科技和核心技术创新之匮乏, 有历史的和当前的千条和万条原因, 但归结起来却只有一条最核心的问题, 这就是企业普遍不重视应用科学研究, 未将科技研发视为企业竞争力的原动力, 导致国内长期未步入应用科学革命及其诱发的技术革命, 特别在大企业中更加缺失。这个问题只有得到实质性的、切实的解决, 我国的科技创新力和经济竞争力才会有决定性的转变。德国在 1860 年代出现的企业科技实验研究、1875 年后美国经过四个时期的工业实验研究、日本在明治维新后学习西方科技研发兴国的成功, 两三个世纪以来这些普遍性的成功经验形成了一个普遍性的规律, 值得认真研究和吸取。笔者在《R&D——企业的原动力》^[14] (2001 年) 中, 曾经按照年研发费与年营业销售收入的比值大小, 将国内制造业的大中型企业排队, 深圳的华为技术有限公司被列为榜首, 并将它的前期成就主因归于其首席执行官任正非突出信息技术研发路线的远见卓识。近年来该公司的大发展和享誉世界说明, 笔者的看法是正确的。华为公司的成功经验说明, 我国不但应该将应用科学研究提到足够的高度, 而且更应该将应用科学与新技术的研发形成一代应用科学革命思潮和自主研发与创新的行动。

2.6 有必要将应用科学革命从过去说的“科学革命”中分离, 并且明确其内涵和正名

(1) 历次基础科学革命之后, 实际上发生了应用科学的重大变革或革命。例如, 法国大革命后的法国, 1860 年代后的德国, 1875—1945 年间的美国, 19 世纪晚期至今的日本, 都是靠应用科学和技术大发展才走上富强的道路, 并反过来推动了基础科学的迅速发展。应用科学的存在和重要意义决定了有必要将它明确地从“科学革命”中独立出来, 并确定其概念内涵。

(2) 对应用科学革命应该予以正名。名不正则言不顺, 像一切需要独立的事物需要正名一样, 应用科学的变革应该予以正名, 称为“应用科学革命”。

综上所述, 我国目前所紧缺的不仅是基础科学知识, 还有应用科学知识, 而且更为紧要 and 关键。基础科学的成就一旦出现就会立即在刊物上发表, 而为世人所知, 比较容易学习, 而应用科学知识则是半保密的, 技术和专利则不仅保密而且还是垄断的。之所以产生这一问题, 在于对应用科学和应用科学革命的存在和作用忽视了并对其缺乏应有的认识, 造成基础科学与高新技术之间的严重脱节, 甚至几乎所有的哲学家、理论科学家和科学史学家们误将基础科学等同于科学, 而漠视应用科学革命对于社会变革所起的关键作用。大量事实说明, 应用科学是基础科学与技术之间的桥梁和协变纽带, 是科技研发的灵魂。否则, 科技转化为生产力便成为一句空谈。

对应用科学革命认识的缺失, 是我国当前急需重视的重大问题! 时代不同了, 那种以为有了基础科学知识就可以富强国家的想法, 是空幻的、过了时的设想。是把应用科学的发展和革命提到日程上来的时候了! 这是技术保密和垄断条件下发展自主知识产权和核心技术的关键环节和灵魂。

3 近代应用科学革命

3.1 定义

近代应用科学革命是应用牛顿力学体系的概念和知识于应用力学、热学、电学、磁学等学科所形成的应用科学知识体系的社会性变革。

3.2 范式和分期

(1) 范式: 本文认为应用科学革命的范式应由应用科学的主要组成要素和标志性理论组成(见表 1)。

(2) 分期: 按照库恩的科学革命的范式理论([2], 92页), 应用科学革命的分期原则是应用科学范式的变革。

● 两次分期说: 将近代应用科学革命分为两次。

第一次应用科学革命: 从 1638—1644 年伽利略学派开创了弹性体力学^[15]和对真空和大气压的研究领域, 到 1773—1787 年期间, 库仑写出论文《建筑静力学各种问题的极大极小法则的应用》。

著名科学史学家卡乔里(Florian Kajori)说: “在 17 世纪, 除去望远镜之外, 没有其他的发现能比气压计和空气泵的实验更能令人惊奇”^[16 17]。而库仑关于建筑材料强度理论和扭转理论方面的研究, 则被力学大师蒂莫森柯(S. P. Timoshenko)誉称“18 世纪时在材料力学上的成就, 没有人能比上库仑”^[18], 为 18 世纪应用力学的大发展开辟了道路。此后他建立了摩擦理论、发明了扭秤、建立了材料扭转理论, 并在 1787 年左右提出了著名的静电学和磁学的库仑定律。因此库仑的成就具有里程碑式的意义。

第二次应用科学革命: 主要为弹性体和塑性体力学和电磁学的重大发展, 时间从 1800 年伏打(Alessandro Volta)宣布发明化学电池(原称“电堆”), 到 1831 年法拉第发现电磁感应和发明发电机原理。此期间, 法、德、英等国的科学家建立了弹性体力学基本方程、热机原理、电磁学、电动力学和发现电磁感应, 应用科学取得里程碑式的重要成就。

表 1 近代应用科学革命的范式结构和分期图

范 式	判 据							
	物质和材料		作用力或场	主要学科	运 动	应用方法	动力和能源	标志性知识体系
	属性	结构						
第一次应用科学革命的范式	物质三态, 理想和弹性固体和流体, 牛顿原子论, 钢铁和合成等材料	多层次粒子, 以太波动说, 细胞学说	重力, 磁力, 电力, 化学亲和力和	应用力学, 电学, 磁学, 热学, 辐射研究	机械运动, 热素运动, 电荷和磁荷运动	因果论, 牛顿力学的应用, 粒子-力说具体应用	蒸汽动力, 水动力, 煤、材, 风能	应用力学和电磁感应

续表 1

范 式	判 据							
	物质和材料		作用力或场	主要学科	运 动	应用方法	动力和能源	标志性知识体系
	属性	结构						
第二次应用科学革命的范式	物质三态、波斯考维奇原子模型、化学原子论、能量	原子-分子说、波斯考维奇原子模型、有机物大分子结构、以太波动说	电磁力、引力	应用力学、电学、磁学、热学、电磁感应	机械运动、热分子运动、运动形态转化等当、能量转化守恒	因果论决定论、能量等当转化、实验结果数学化	蒸汽动力、水动力、电力、化学电力、煤、材、风能	应用力学、电磁感应、卡诺定理

● 一次分期说: 将近代应用科学革命认定为一次。

从 1638—1644年伽利略学派提出弹性体力学, 到 1831年法拉第发现电磁感应。

3.3 近代应用科学革命开始后的主要成就

(1)真空和大气压方面:

1638年伽利略发表《关于两种新科学的对话》, 其中第一种新科学就是弹性体力学。晚年, 他还预言真空的存在和大气阻力问题, 并敦促他的学生做实验研究。

1643—1644年托里拆利和维维安尼 (Viviani)实验研究抽水唧筒提水高度, 前者发明水银气压计和虹吸管, 证明真空的实际存在和大气压力的存在及大小。

1653—1654年德国的格里克发明空气泵, 并作马德堡半球实验, 验证大气压的存在和制造了汽缸机械。

1659—1660年英国的波义耳 (Robert Boyle) 和胡克 (Robert Hooke) 完善空气泵, 发现波义耳定律。

1690年惠更斯和帕本提出和试验火药燃气泵, 后者发明和试验了蒸汽泵, 导致英国的塞维利发明“矿工之友”和 1712年纽科门^[19]发明可实用的单作用式蒸汽机, 从而开始了近代蒸汽动力技术革命。

(2)应用力学方面:

1638年伽利略在《关于两种新科学的对话》一书中, 提出第一种新科学是弹性体力学。

1660年代胡克提出以他的名字命名的“胡克定律”: 弹性体对外力的抗力与其变形长度成正比。

1738年伯努力 (Daniel Bernoulli)发现水力学伯努力定律。

1773—1784年库仑提出或发展了弹性体力学、挡土墙理论、弹性极限和材料抗扭转的理论, 以及首次提出摩擦理论。

1802年英国科学家扬 (James Young) 提出弹性模量 (一定材料的弹性体变形在弹性极限内应力与应变的比值为常数)。

1821年法国的纳维 (Pierre T. Navier)提出弹性力学基本方程, 奠定了弹性力学的理论基础。

1869年法国的圣维南 (Barre de Saint-Venant) 提出了塑性力学基本方程, 奠定了塑性力学的基础。

1904年到第一次世界大战期间, 德国的普朗德尔 (L. Prandtl) 建立了机翼空气动力学理论。

(3) 电磁学方面:

1654年格里克发明摩擦起电机, 为静电实验提供了有效的电源。

1783年库仑发明扭秤、测扭转变形的仪器。1783年, 他从静力学和动力学两方面提出了关于静电力和磁力与其距离关系的库仑定律。他还发明了摩擦力的概念和摩擦定律。

1800年伏打宣布发明“Volta电堆”, 即化学电池, 从而开始了动电时代。

1820年丹麦的奥斯特 (Hans C. Ørsted) 发现通过导线的电流能感生磁性。

1821年法拉第发现电磁回转现象, 即发明电动机原理和模型。

1823年安培 (André A. M. Ampère) 提出电动力学方程。

1831年法拉第发现电磁感应和磁生电现象, 发明发电机原理和模型。

(4) 热学方面:

1703—1723年德国的斯塔耳 (George E. Stahl) 提出燃素说。

1760年代英国的布莱克 (Joseph Black) 否定燃素, 并提出热素说。

1798—1799年伦福德 (Count Rumford) 和戴维 (Humphry Davy) 先后证明热是分子的运动, 俗称热动说。

卡诺 (Sadi Carnot) 在 1824年写出了《关于火的动力的看法》小册子, 提出热机可逆循环, 成为后来热机研究和热力学发展的基础理论。

4 现代应用科学革命的范式结构和分期

4.1 范式结构

本文采取的应用科学的范式由应用科学的主要基本要素及其标志性理论构成 (表2)。

表 2 现代应用科学革命的范式结构

范式	判 据							
	物质和材料		力和场	主要学科	运动	科学方法	动力和能源	标志性理论体系
	属性	结构						
现代应用科学革命的范式	原子可分可变, 放射性, 元素衰变, 人工元素嬗变, 质能等当, 共振态, 量子态	超导体, 超流体, 纳米材料, 凝聚态, 超密天体, 高分子材料, 生命物质大分子	电磁场, 引力场	核能源, 超导体物理, 半导体物理, 纳米材料学, 生物工程, 光电电子学, 信息论, 控制论, 系统论	第一宇宙速, 第二宇宙速, 第三宇宙速, 近光速运动, 超、亚音速运动	系统工程, 运筹学, 计算机辅助分析, 数字化, 遥感遥控, 加速器	燃气涡轮, 喷气动力, 核动力, 太阳能, 煤液化, 石油煤气, 氢能源, 燃料电池	信息论, 数字化网络理论

4.2 分期

按照库恩的科学革命的范式理论,应用科学革命的分期原则是应用科学范式的变革,主要表现为标志性理论的变革。

到目前为止,出现最早和影响最大的应该是信息科技的源头固体物理的能带理论和信息论,它们导致 p-n结、半导体、晶体管和集成电路与集成光路的发明^[20],促成微电子技术、光电技术和网络技术时代的来临。所以,这次应用科学革命应该从固体能带理论提出的 1931 年开始。

4.3 关于分期的讨论

至目前,近代科技史上关于应用科学革命分期主要有两种看法:

(1)近现代三次应用科学革命可用图 1 表示:



图 1 近现代三次应用科学革命示意图

[1638—1787: 从 1638 年伽利略创立弹性体力学到库仑发表《建筑静力学各种问题的极大极小法则的应用》(1773 年)和《论电和磁·第二篇论文》(1787 年); 1800—1831: 从 1800 年伏打发明电堆到 1831 年法拉第发现电磁感应; 1931—: 从 1931 年威尔逊 (A. W. Wilson) 提出固体能带理论开始]

(2)近现代两次应用科学革命可用图 2 表示:



图 2 近现代两次应用科学革命示意图

(1638—1831: 从 1638 年伽利略在《两种关于新科学的对话》的第一个对话中创立了弹性体力学, 到 1831 年法拉第发现电磁感应; 1931—: 从 1931 年威尔逊提出固体能带理论开始, 至今仍在进行中)

本文认为,科学、技术和产业革命的分期是个关系到过去、现在和未来的历史问题,因此关于这些革命的理论、范式、标志性理论体系和分期原则问题,不但要考虑每种革命本身的特点、性质和历史作用,而且要考虑历史时期的合理性和协调性。例如,从至今四百多年的近现代历史来看,出现过二或三次基础科学革命的说法比较多,但是,从今后即使上千年的历史来看,过去四百多年历史时期中以近、现代各出现一次基础科学革命和一次应用科学革命比较合宜。这是因为近代基础科学革命如果发生过两次,第二次肯定发生在 19 世纪中叶,其结束时间应为电磁理论发表之时,即 1864 年,距现代科学革命发生的 1895 年只差 31 年;近代应用科学革命如果也发生两次,则两次之间只差 27 年;对于历史长河而言都嫌过短,不可能得到后人的认可。

所以,从短期着眼需要微观的历史分期法,以采用三次革命方案比较合适,但是从历史长河着眼需要宏观的分期方法,以采用两次革命方案比较合理。因为从历史长河来看分期,分得过细不可能被后人采纳,这应该成为历史分期应考虑的因素之一。

参 考 文 献

- 1 阎康年. 科学技术和产业革命的内在机制与世界历史发展 [J]. 历史研究, 1992, (2): 135—136
- 2 Kuhn T. *The Structure of Scientific Revolutions* [M]. 2nd edition Chicago University of Chicago Press 1970.
- 3 Butterfield H. *The Origin of The Origins of Modern Scientific Revolution* [M]. London: G. Bell & Sons 1958.
- 4 Cohen I B. *Revolution In Science* [M]. Boston Harvard University Press 1989
- 5 Brush S G. Scientific Revolution of 1905 [A]. Bunge M, Shea W R (ed). *Rutherford and Physics at the Turn of the Century* [C]. New York: Dawson and Science Publications 1979.
- 6 Yuasa M. Center of Scientific Activity: its Shift from 16th to the 20th Century [J]. *Japanese Studies in the History of Science*, 1962 (1): 57—75
- 7 (日) 汤浅光朝. 科学活动中心的转移 [J]. 赵红洲译. 科学与哲学, 1976, (2): 53—73.
- 8 (美) 库恩. 科学革命的张力 [M]. 纪树立, 等译. 福州: 福建人民出版社, 1981. 215
- 9 Crowther J G. *The Cavendish Laboratory* [M]. New York Science History Publications 1974. 8—10
- 10 Andrade E N da C. *A Brief History of the Royal Society* [M]. London: Royal Society, 1960 11—12
- 11 阎康年. 卡文迪什实验室——现代科学革命的圣地 [M]. 保定: 河北大学出版社, 2000. 7—9, 19—20
- 12 阎康年. 通向新经济之路——工业实验研究是怎样托起美国经济的 [M]. 北京: 东方出版社, 2001. 10
- 13 Holland M. Highlight of 50 Years in R&D Management [A]. Vagtborg H (eds). *Research and American Industrial Development* [C]. New York: Pergamon Press 1976. 422
- 14 阎康年, 吴乐斌, 马诚. R&D——企业的原动力 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2004 181—206
- 15 Galilei G. *Dialogues Concerning Two New Sciences* [M]. Crew H, Salmon A de (trans). New York: The Macmillan Company 1914. 114—150.
- 16 Capri F. *A History of Physics* [M]. New York Macmillan Company 1928 71—75
- 17 (美) 卡乔里. 物理学史 [M]. 戴念祖译. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1981. 72—73
- 18 Timoshenko S. *P.H. History of Strength of Materials* [M]. New York McGraw-Hill Publishing Co., 1953. 41
- 19 Singer C. *A History of Technology* [M]. Vol IV. Oxford Clarendon Press 1958. 116—117
- 20 阎康年. 贝尔实验室成功之路 [M]. 广州: 广东教育出版社, 2004 78—79.

Applied Science and the Revolution of Basic Science

YAN Kangnian

(Institute for the History of Natural Science CAS Beijing 100010 China)

Abstract The so-called “Scientific Revolution” means actually the revolution of basic science. Scientific revolution consists of revolutions of both basic science and applied science. Revolution of applied science is regarded generally as a servant-girl, so she was neglected and covered by the revolution of basic science, and some hidden troubles were laid between basic science and technology and between the revolution of basic science and that of technology. The achievements of basic science are difficult and even impossible to be transformed directly into technology, and the revolution of basic science was divorced from the revolution of technology. A series of historical achievements show that revolution of applied science always appeared after the emergence of every revolution of basic science, but it was included and even covered by the revolution of basic science. Once the blank in the chain of the revolutions of basic science

technology and industry is filled by the revolution of applied science, the chain from basic science to productive power will be joined.

Differences between the revolution of basic science and that of applied science, and the necessity, paradigm and periodization of the revolution of applied science are introduced and analyzed as follows. According to the understandings mentioned below, the so-called scientific revolution in the past was inaugurated by the change of basic science, the transference of scientific center between two countries was due to great development of applied science, and the so-called “rise of strong country” always relied on the significant development and achievement of industry and economy, so all of them may be explained reasonably with the introduction of the concept of the revolution of applied science.

Key words revolution of basic science; revolution of applied science; paradigm of revolution of applied Science; periodization

责任编辑：屈宝坤